جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره سی‌ام، تابستان ۱۳۹۸

صص ۱۸۲- ۱٦۷

DOI: https://doi.org/10.22067/geo.v0i0.77132

پایش روند تغییرات ارتفاعی سطح زمین در شهرکرمان و تعیین مناطق پرخطر با استفاده از تصاویر راداری ASAR و SENTINEL 1

علی مهرابی[۱]- استادیار، جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه شهید باهنرکرمان، کرمان، ایران

حسین غضنفرپور- دانشیار، جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه شهید باهنرکرمان، کرمان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۹/۱۹ تاریخ تصویب: ۱۳۹۸/۲/۲۵

چکیده

تغییرات ارتفاعی رخداده در سطح زمین که غالباً به‌صورت فرونشست و گاهی بالاآمدگی ظاهر می‌شود، به‌عنوان یک مخاطره خاموش ولی جدی در محدوده شهرها به‌حساب می‌آید، که می‌تواند به‌مرورزمان صدمات جدی به تأسیسات شهری وارد سازد. به دلیل تغییرات رخداده در سطح آب‌های زیرزمینی شهر کرمان، پدیده فرونشست و بالاآمدگی با شدت زیادی در این محدوده وجود دارد که می‌تواند خسارات جبران‌ناپذیری به شهر وارد نماید و هدف تحقیق پایش این تغییرات است. در این تحقیق سعی شده است که با استفاده از تکنیک تداخل‌سنجی تصاویر راداری میزان تغییرات ارتفاعی رخداده در محدوده شهر کرمان بررسی و نحوه تغییرات مکانی آن در طول ١٤ سال اخیر مورد پایش قرار گیرد. در این راستا از ٦ تصویر از سنجنده ASAR و ۲ تصویر از سنجنده SENTINEL1 مربوط به چهار دوره زمانی، استفاده شد و با انجام تکنیک تداخل‌سنجی، چهار تداخل‌نگاشت از محدوده مورد مطالعه تهیه گردید. با مطالعه تداخل‌نگاشت‌ها، نرخ و دامنه فرونشست و بالاآمدگی استخراج گردید. بر این اساس حداکثر نرخ فرونشست و بالاآمدگی در چهار دوره زمانی مربوط به سال‌های ١٣٨٦ - ١٣٨٣، ١٣٨٩- ١٣٨٦، ١٣٩١- ١٣٨٩و ١٣٩٦-١٣٩٣، به ترتیب ٧/٣، ٧/٦، ٩ و ١٠/٦ سانتیمتر در سال فرونشست و ٦، ٦/٦، ٥ و ٤/٦ سانتیمتر در سال بالاآمدگی بوده است. استخراج عرصه در معرض مخاطره نشان داد از مجموع مساحت محدوده در حدود ٤٣ درصد در پهنه‌های پرخطر تا نسبتاً پرخطر قرار دارد. شواهد میدانی نشان می‌دهد که علاوه بر محدوده‌های فرونشستی، در مناطق با نرخ تورم و بالاآمدگی زیاد نیز آثار و شواهد خسارات به ساختمان‌ها به‌وضوح دیده می‌شود. نقشه‌های جابجایی ایجاد شده نشان می‌دهد که سطح زمین در شهر

۱ نویسنده مسئول: ٩١٣١٩٣٤٢٥٦ Email: Mehrabi@uk.ac.ir

کرمان از سال ۱۳۸۳ تاکنون دچار یک روند فرونشست فزاینده‌ای شده است به‌طوری‌که علاوه بر افزایش نرخ فرونشست، محدوده‌های بیشتری از شهر درگیر آن شده است.

واژه‌های کلیدی: فرونشست زمین، تداخل‌سنجی راداری، SENTINEL 1 ،ASAR، شهر کرمان.

۱. مقدمه

یکی از مشکلات اساسی و روزافزون در اکثر جوامع بشری که بیشتر در اثر فعالیت‌های بشری رخ می‌دهد پدیده فرونشست است. فرونشست به فرورفتگی سطح زمین اشاره دارد که بر اثر عوامل گوناگون طبیعی مانند انحلال، آب شدگی یخ‌ها، فعالیت‌های انسانی نظیر معدنکاری، برداشت بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی و یا نفت حاصل می‌گردد. رشد روز افزون جمعیت منجر به استفاده بی‌رویه از آب در مصارف خانگی، صنعتی و کشاورزی شده و پیرو آن ایجاد اثرات نامطلوب کمی و کیفی در منابع آب بوده است. افزایش استفاده از آب‌های زیرزمینی به‌ویژه در حوضه‌هایی که با نهشته‌های آبرفتی، دریایی کم‌عمق یا دریاچه‌ای تحکیم نیافته انباشته گشته‌اند، باعث ایجاد فرونشست می‌شود. در بسیاری از دشت‌های ایران بهره‌برداری بیش‌ازحد از آب زیرزمینی منجر به رخداد فرونشست در آنها شده است (یاراحمدی، ۱۳۹۵؛ Jafari et al. 2016؛ شریفی‌کیا، ۱۳۹۱؛ صالحی و همکاران، ۱۳۹۲؛ Galloway and Burbey, 2011؛ Ghazifard et al. 2016؛ Liu et al. 2017). بدین‌جهت، احتمال دستیابی به شواهدی در ارتباط با وجود پدیده فرونشست در دشت‌ها بالاست. از آنجائی که اولین گام در مطالعه این پدیده، شناخت گستره فضائی آن و اندازه‌گیری هر چه دقیق‌تر میزان فرونشست است؛ بنابراین با شناخت مشخصات مکانی و رفتار زمانی این پدیده، امکان ارائه و توسعه مدل منطقه‌ای این پدیده میسر شده و از این طریق می‌توان راهکارهایی اساسی و عملی در جهت جلوگیری از روند آتی و کاهش خسارات مرتبط با آن اتخاذ کرد. امروزه، برای اندازه‌گیری فرونشست زمین روش‌های مختلف ژئودیتیکی و غیرژئودیتیکی وجود دارند. مشاهدات زمینی از طریق برداشت‌های GPS، توتال استیشن و لیزر اسکنر ازجمله روش‌های ژئودیتکی محسوب می‌شوند. مشاهداتی که از طریق این روش‌ها صورت می‌گیرند ازجمله ایستگاه‌های GPS اندازه‌گیری‌های دقیق و پیوسته‌ای را در نقاط محدودی از منطقه فرونشست ارائه می‌دهند بنابراین هیچ‌کدام از این روش‌ها، توانائی تعیین وسعت و الگوی فضائی پدیده فرونشست را ندارند (Lanari et al. 2004؛ Boni et al. 2015, Sharifikia, 2012). از طرف دیگر، تکرار انجام هرکدام از این روش‌ها به‌ویژه هنگامی‌که برای منطقه وسیعی مورد نظر باشد بسیار پرهزینه و زمان‌بر خواهد بود. وجود چنین محدودیت‌هایی همواره از چالش‌های اساسی محققان در ارتباط با اندازه‌گیری‌های دقیق و پایش فضایی تغییرات سطح زمین محسوب می‌شود. با ظهور سنجنده‌های دورسنجی مختلف و ماهواره‌های راداری تصویربرداری در دهه ۱۹۹۰ و توسعه سریع آن در سال‌های بعدازآن، افقی تازه و بسیار امیدوارکننده‌ای پیش روی محققان علوم زمین قرارگرفت (یاراحمدی، ۱۳۹۵). همگام با

توسعه روش‌های مختلف پردازشی این قبیل داده‌های دورسنجی، بکارگیری روش اینترفرومتری راداری[1] نیز در سال های اخیر به‌عنوان یکی از روش‌های غیرژئودیتک و ابزاری کارآمد در آشکارسازی تغییرات سطح زمین و پایش جابجائی‌های ناشی از پدیده‌های مختلفی نظیر فرونشست، آتشفشان و زمین لغزش و زلزله و ... مورد توجه محققان علوم زمین قرار گرفته است (Liu et al. Raspini, Lubis et al. 2011; Motagh et al. 2007; Chang et al. 2004 Ghazifard et al. 2017 ; 2013; Zhao, 2016; 2014؛ مهرابی و پورخسروانی، ۱۳۹۷). برخی مزایای این روش که نسبت به نوع سنجنده متفاوت است می‌توان به پوشش مکانی وسیع و پیوسته، امکان محاسبه جابجایی‌ها با دقت سانتیمتر و پائینتر، قابلیت تصویربرداری در هر شرایط آب و هوایی و هر ساعت از طول شبانه روز، تکرار تصویربرداری از یک منطقه خاص در هر ۳۵ یا ۱۱ روز و سهولت دسترسی به داده‌های آرشیوی و آنلاین سنجنده‌های راداری و در نتیجه، نیاز کمتر به انجام مجدد عملیات میدانی و صرف هزینه بسیار پائین آن در مقایسه با روش پیشین ذکر کرد (یاراحمدی، ۱۳۹۵). در دهه‌های اخیر، افزایش جمعیت جهان به خصوص در مناطق شهری به‌عنوان یک پدیده مهم، پیچیدگی‌ها و مشکلات زیادی را در زمینه‌های مختلف ایجاد کرده است. در این میان با برداشت بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی خطر فرونشست زمین در محدوده‌های شهری به‌عنوان یکی از مهمترین موضوعات در حوزه‌های برنامه‌ریزی و طراحی شهری به جهت مدیریت بحران و خطرپذیری، کاهش ریسک و آسیبها وافزایش ایمنی می‌باشد. مناطق شهری به دلیل تراکم جمعیت، ساختمان‌ها و شریان‌های ارتباطی به طور ویژه آسیب پذیرتر می‌باشند. این پدیده می‌تواند به خیابانها، پل‌ها و بزرگراه‌ها آسیب زده خطوط آبرسانی، گاز و فاضلاب را مختل کرده به پی ساختمان‌ها آسیب رسانده و موجب ترک در آنها گردد. در این میان، سازه‌هایی که وسعت زیادتر و ارتفاع بیشتری دارند آسیب پذیرترند. بعنوان مثال، خطوط راه آهن، سدهای خاکی، تصفیه خانه‌ها و کانال‌ها از آسیب پذیری زیادتری برخوردار هستند. شناسایی مناطق فرونشست و اندازه‌گیری میزان آن می‌تواند نقش موثری در مدیریت این پدیده و مدل سازی آن به منظور پیش بینی ایفا نماید (تورانی و همکاران، ۱۳۹۷). با وجود انجام مطالعات فراوان درباره فرونشست در محدوده دشت‌های ایران (جنت و همکاران، ۱۳۸۸؛ شریفی‌کیا، ۱۳۹۱؛ افضلی و همکاران، ۱۳۹۲؛ صالحی و همکاران، ۱۳۹۲؛ میرشاهی و همکاران، ۱۳۹۲؛ حشمی و المدرسی، ۱۳۹٤؛ حاجب و همکاران، ۱۳۹۷)، فرونشست پهنه‌های شهری کمتر مورد توجه قرار گرفته است بطوری که می‌توان تنها به مطالعات محدودی اشاره کرد به طور مثال کریمی و همکاران (۱۳۹۲)، خطرپذیری سکونتگاه‌های شهری واقع در منطقه ۱۸ شهر تهران ناشی از پدیده فرونشست مورد بررسی قرار داده و نرخ فرونشست را تا ۲۵ سانتیمتر در بخش‌های جنوبی محدوده مورد مطالعه خود برآورد می‌کنند. تورانی و همکاران (۱۳۹۷)، با استفاده از روش تداخل‌سنجی راداری به پدیده فرونشست در غرب استان گلستان بویژه شهر گرگان پرداخته‌اند، ایشان محدوده فرونشستی به میزان ٤/۸ سانتیمتر در شمال شهر گرگان مشخص کردند.

---

1 InSAR

لیو و همکاران[1] (۲۰۱۷) با اســتفاده از تکنیک پراکنش‌گرهای دائمی تصــاویر رادار، تغییرات ارتفاعی ســطح زمین در شــهر کانچو چین را مورد بررســی قرار داده و مناطقی که دچار فرونشــســت و یا بالاآمدگی شــده‌اند را مشــخص کرده اســت. کاســتلازی و همکاران[2] (۲۰۱٦) با اســتفاده از روش تداخل ســنجی بر روی تصاویر رادارست، نرخ فرونشست شــهر مکزیکوســیتی را بطور متوسـط ســالانه ۱۰ ســانتیمتر برآورد کردند، طبق نتایج ایشان مناطق مرکزی و شرقی شهر بیشتر دچار فرونشست شده است.

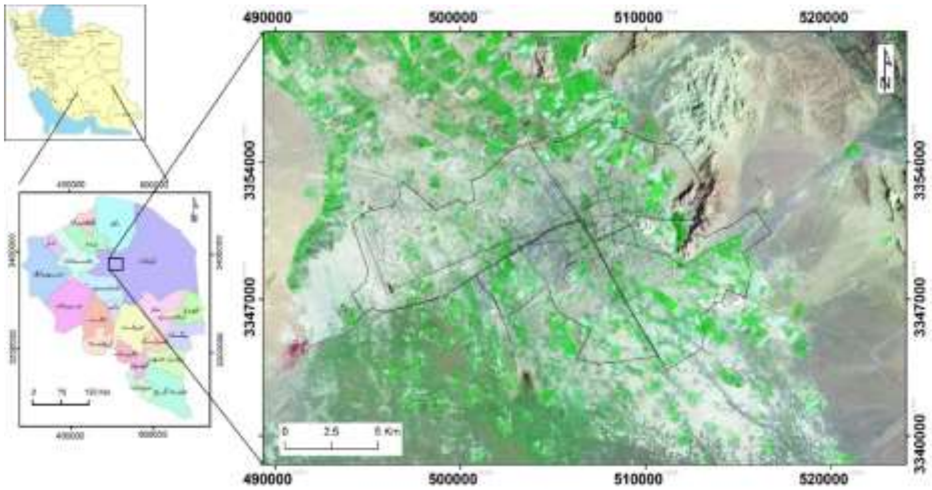
شــهر کرمان نیز به مانند بســیاری از شهرهای کویری ایران به دلیل خشکسالی‌های چند سال اخیر مجبور به استفاده بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی شــده اســت. در نتیجه با خطر فرونشست روبرو است. در این رابطه عباس نژاد و حسن زاده (۱۳۸۵) با اســتفاده از عکس‌های هوایی و اطلاعات نقشــه‌برداری به ارزیابی خطر فرونشــســت و تورم زمین در سـطح شــهر پرداخته‌اند، نتایج مطالعات ایشــان نشــان می‌دهد که در محدوده‌هایی از سطح شهر فرونشست اتفاق افتاده اســت همچنین ایشــان میزان بالاآمدگی را در بخش‌هایی از شــهر بالغ بر ٦ ســانتیمتر اندازه‌گیری کرده‌اند. ولیکن در تحقیق حاضـر سـعی شـده تا با اسـتفاده از روش نوین تداخل‌سنجی تصاویر راداری ASAR و SENTINEL 1 مقوله فرونشــســت زمین در محدوده شــهر کرمان مورد بررســی جامع قرار گرفته، و ضــمن تعیین میزان فرونشــســت، روند تغییرات آن در شــهر کرمان طی چهار دوره و در مجموع در طول ۱۵ ســال اخیر پایش شــده و در نهایت محدوده‌های پرخطر در سطح شهر شناسایی شوند.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

شــهرســتان کرمان با وســعتی در حدود ٤٤۰۰۰ کیلومتر مربع در بخش شــمال شرقی استان کرمان قرار گرفته است. این شــهرســتان از شــمال به خراســان جنوبی، از شــرق به بیابان لوت، از غرب به شــهرســتان رفسنجان و از جنوب به شــهرســتان بم و بردسیر منتهی می‌گردد. شهر کرمان در بخش غربی شهرستان و مابین طول جغرافیایی ۵۷ درجه تا ۵۷ درجه و ۷ دقیقه شــرقی و عرض جغرافیایی ۳۰ درجه و ١٤ دقیقه تا ۳۰ درجه و ۱۹ دقیقه شــمالی واقع شــده اســت (شــکل ۱). ارتفاع متوسـط شــهر کرمان از سـطح دریا ۱۷٦۰ متر بوده و دارای آب و هوای خشـک و نسبتاً گرم است (عباس نژاد، ۱۳۸۳).

1 Lio et al.
2 Castellazi et al.



شکل ۱- موقعیت محدوده مورد مطالعه

در این پژوهش از دو سری داده راداری استفاده شد. تعداد ٦ تصویر از سنجنده ASAR، ماهواره Envisat سازمان فضایی اروپا با فرمت SLC[1] (تک منظر) از نوع مد Image با پلاریزاسیون VV، که مربوط به بازه زمانی ۲۰۰٤/۰۳/۰۹ تا ۲۰۱۲/۰٦/۲۷ است؛ و ۲ تصویر از سنجنده SENTINEL 1، ماهواره Soyuz سازمان فضایی اروپا با فرمت SLC از نوع مد Image با پلاریزاسیون VV، مربوط به تاریخ‌های ۲۰۱٤/۰۷/۰۲ و ۲۰۱۷/۰۹/۲۱. این نوع داده‌ها داده‌های خامی هستند که تنها پردازش اولیه بر روی آنها انجام گرفته و به تصاویر تک منظر تبدیل شده‌اند، و اطلاعات آنها به هیچ عنوان مخدوش نگردیده است. ترکیب داده‌های راداری از مدارهای صعودی و نزولی[2] نیز جهت بهبود مدل‌های رقومی زمین یا به دست آوردن جابجایی‌ها در جهات مختلف با استفاده از اینترفرومتری می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. با توجه به اینکه در این تحقیق هدف پایش میزان فرونشست است، تنها از داده‌های نزولی استفاده شده است. همچنین مدل ارتفاع رقومی ۳۰ متری SRTM برای منطقه مورد مطالعه استفاده شد. جدول شماره ۱ مشخصات داده‌های مورد استفاده در این پژوهش را نشان می‌دهد.

جدول ۱- مشخصات داده‌های مورد استفاده در تحقیق

شماره	نوع تصویر	تاریخ	فریم	مسیر	خط مبنا عمودی (متر)
۱	ASAR	۲۰۰٤/۰۳/۰۹– ۲۰۰۷/۰٤/۲۱	۲۹۹۷	۱٦۳	۱۵
۲	ASAR	۲۰۰۷/۰۲/۱۱– ۲۰۱۰/۰٦/۲۸	۲۹۹۷	۱٦۳	۲۱
۳	ASAR	۲۰۱۰/۰۵/۰۷– ۲۰۱۲/۸/۲٤	۲۹۹۷	۱٦۳	۱۸
٤	SENTINEL 1	۲۰۱٤/۰۷/۰۲– ۲۰۱۷/۰۹/۲۱	۳۰٦۹	۲۰٦	۲۷

1 Single looking complex
2 Ascending and Descending

تحقیق حاضر با استفاده از روش تداخل سنجی راداری صورت گرفته است. این روش در میان روش‌های زمینی و فضایی به‌عنوان کارآمدترین روش برای اندازه‌گیری تغییرات سطح زمین با دقت و قدرت تفکیک مکانی بسیار بالا به شمار می‌رود (Ferretti et al. 2007). در تداخل سنجی راداری، فاز تصویر اخذ شده از موقعیت‌های تصویر برداری و یا زمان‌های تصویر برداری مختلف، پیکسل به پیکسل مقایسه می‌شود (Ferretti et al. 2015). از تفاضل‌گیری بین این مقادیر، تصویر جدیدی حاصل می‌شود که تداخل‌سنج[۱] نام دارد. تشکیل تداخل سنج یا اینترفروگرام اساس پردازش راداری است (Hooper, 2012). بدین منظور با استفاده از نرم افزار SARscape و SNAP به پردازش تصاویر دو زمانه راداری مربوط به سنجنده Envisat و SENTINEL 1 با روش فوق اقدام گردید و حاصل این فرآیند با بهره گیری از محیط نرم افزاری Arc GIS 10.3 علاوه بر استخراج نرخ و دامنه فرورفتگی و بالاآمدگی، پایگاه داده‌های مکانی ایجاد و پهنه‌بندی این پدیده در منطقه مورد مطالعه صورت گرفت.

۲-۲- تداخل سنجی راداری

نحوه اندازه‌گیری تغییرات سطح زمین به روش تداخل سنجی راداری در شکل شماره ۲ نمایش داده شده است. در این شکل P معرف فضایی مشخص در سطح است که در قالب یک پیکسل تصویر شده است. سنجنده تصویر نخست[۲] این فضا را در زمان t_0 ثبت و مقدار فاز آن را اندازه گیری می‌کند (MΦ). مقدار نشست فاصله P تا P1 است؛ که طی زمان مشخصی صورت گرفته است (Dt). برای اندازه گیری این مقدار، سنجنده تصویری دومی[۳] در زمان t و با هندسه‌ای کاملاً شبیه به تصویر نخست اخذ کرده، مقدار فاز را بر روی آن اندازه گیری می‌کند (Φș). روش تداخل سنجی تفاضلی تفاضل فاز Φș و MΦ را در فرم تداخل نگار فازی نمایش می‌دهد (ΔΦint). در صورت ثابت و پایدار بودن سطح، تفاضل فاز این دو تصویر (SP- MP) ناشی از تغییر موقعیت این دو سنجنده است و مقدار آن به وسیله رابطه زیر بدست می‌آید:

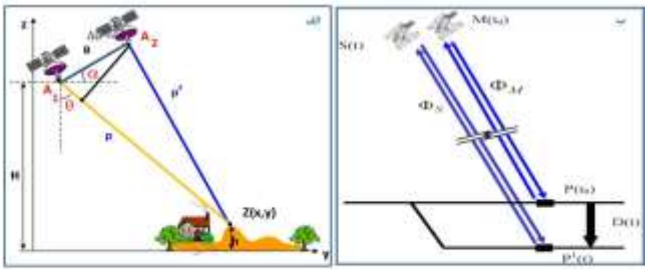
$$\Delta\Phi int = 4л\frac{SP - MP}{\lambda} \qquad (۱)$$

در اندازه گیری مقدار بالاآمدگی به کمک این روش، سطح ناپایدار تصور شده، به طوریکه سطح از P به P1 تنزل یافته است. تعیین مقدار جابجایی در فاصله زمانی دو تصویر (Dt) تابع اختلاف فاز دو تصویر (ΔΦint) به همراه فاز ناشی از اثر توپوگرافی (Φtop) و فاز ناشی از جابجایی سطح (ΦMov) و همچنین فاز ناشی از اثر اتمسفر (ΦAtm) خواهد بود.

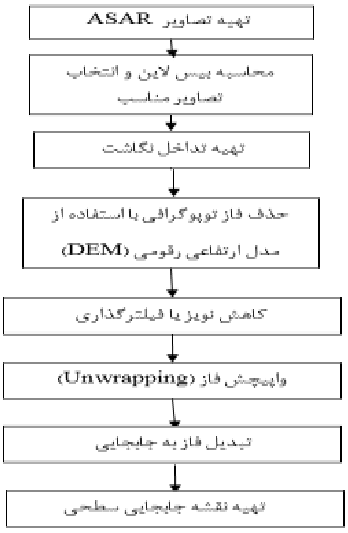
$$\Delta\phi int = 4л\frac{PS - PM}{\lambda} = \phi Top + \phi Mov + \phi Atm \qquad (۲)$$

1 Interfrogram
2 Master
3 Slave

در این روش در صــورت در اختیار نداشــتن تصــویر ســوم، به کمک مدل رقومی ارتفاعی زمین و تبدیل ارتفاع به فــاز، یــک تـداخــل نگار مصـــنوعی تولید می‌شـــود و از این راه به کمک معکوس اطلاعات DEM اثر فاز ناشـــی از توپوگرافی محاســبه و از مقادیر اختلاف فاز حذف می‌شــود. اختلاف فاز باقی‌مانده به اثر جابجایی سطح و اتمسفر تعلق دارد. در نهایت با نادیده انگاشـــتن اثر اتمســـفر در جابجایی‌های به میزان بالا (چند ســـانتیمتر) و یا حذف آن به کمک تصـــاویر اپتیکی، اختلاف فاز دو تداخل نگار (ΦΔD-int) (تداخل نگار اصـــلی و مصـــنوعی) فقط بیان کننده مقادیر جابجایی ســطح خواهد بود (شــریفی کیا، ۱۳۹۱). فلوچارت روش تداخل‌ســنجی راداری در شکل شماره ۳ ارائه شده است.



شکل ۲- الف- هندسه روش تداخل سنجی، ب- روش تداخل سنجی تفاضلی برای اندازه گیری تغییرات سطح زمین (Burgmann et al. 2000).



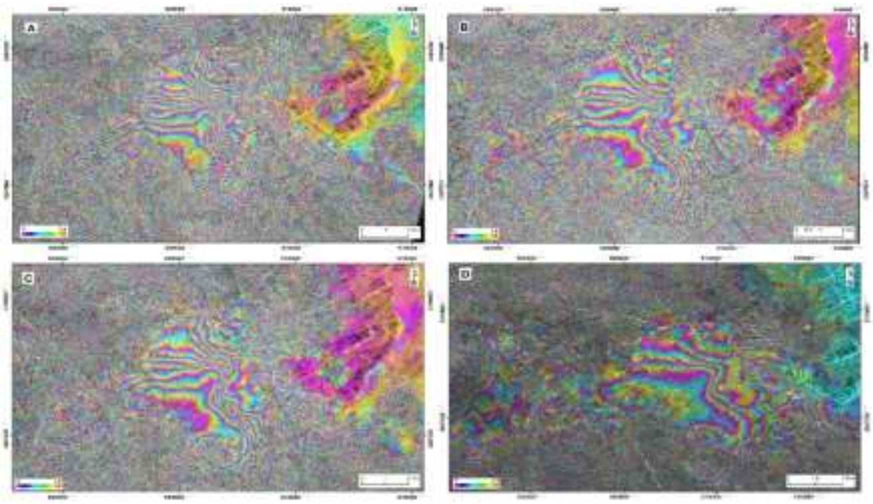
شکل ۳– فلوچارت روش تداخل سنجی راداری

با تهیه زوج تصــاویر مناســب (جدول ۱)، یعنی زوج تصاویری که خط مبنای عمودی آنها بسیار کم است، اقدام به اجرای روش تداخل‌ســنجی راداری با اســتفاده از نرم‌افزار SARscape 5 در محیط ENVI 5 شــد. بدین ترتیب پس از

انجام فرایند بازیابی فاز، به منظور رفع خطای نوفه، با انتخاب نقاط کنترل زمینی (GCP) فاز ویرایش شــد، ســپس به منظور تفکیک ســیگنال تغییر شــکل، مؤلفه توپوگرافی با اســتفاده از مدل ارتفاع رقومی، تصــحیح و پالایش و تداخل نگاشــت‌های مربوطه تهیه شــد (شــکل ٤). به منظور شــناخت محدوده‌های پرخطر در سـطح شهر کرمان، اقدام به تهیه نقشــه الگوی فضــایی عرصــه‌های پر مخاطره گردید، بدین منظور دو فاکتور نرخ و دامنه فرونشــســت و بالاآمدگی مســتخرج از تداخل نگاشــت مربوط به ســال‌های ۱۳۹۳ تا ۱۳۹٦ به‌عنوان فاکتور عامل در زایش مخاطره به تحلیل‌گر سـیسـتم در محیط GIS وارد شد. نقشه خروجی معرف سلول‌های واجد ارزش متفاوت از فاکتور زایش مخاطره است. بر این اسـاس دسـته‌بندی ارزش سلول‌های معرفی شده در نقشه خروجی به ٤ کلاس متفاوت برای خطر فرونشست و ۳ کلاس متفاوت برای خطر بالاآمدگی، تحت عنوان پهنه‌های برخوردار از مخاطره فرونشــســت و بالاآمدگی مشـتمل بر پهنه بسیار پرخطر، پهنه پرخطر، پهنه نسبتاً پرخطر، و پهنه نسبتاً کم خطر تهیه گردید.

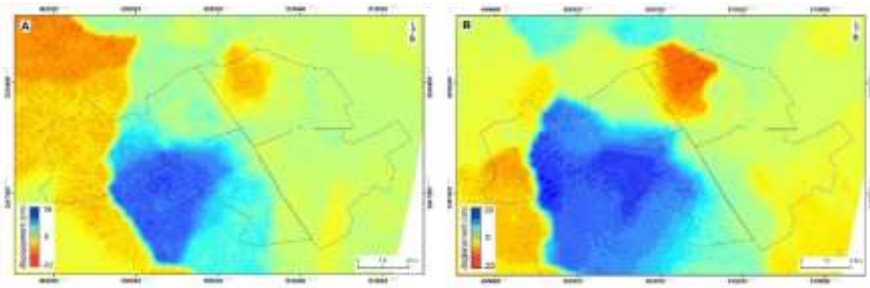
۳- نتایج و بحث

همان‌طور که در شـکل شماره ٤ مشاهده می‌شود در تصاویر تداخل نگاشت بدست آمده، فرینچ هایی تشکیل شده اسـت. با توجه به نحوه قرار گیری سـیکل‌های رنگی مکانیزم جابجایی نیز متفاوت اسـت، بطوری که اگر سیکل رنگی زرد–آبی–قرمز باشـد، جابجایی دور از رادار و اگر سـیکل رنگی زرد–قرمز–آبی باشـد جابجایی به سـمت رادار اتفاق افتاده اسـت. آنچنان که در شـکل شـماره ٤ به خوبی مشـخص اسـت موقعیت فرینچ‌های ایجاد شده دقیقاً از مرز شهر تبعیت کرده که نشـانگر تغییرات ارتفاعی متفاوت در سـطح شـهر اسـت، همچنین روند و شکل سیکل‌های ایجاد شده در تمامی دوره‌ها نسبتاً مشابه است.

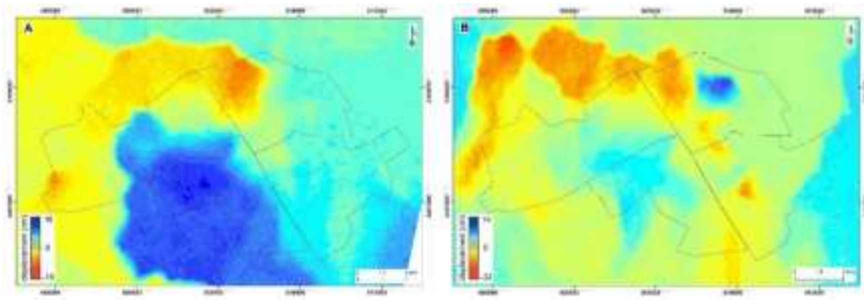


شکل ٤– تداخل‌نگاشت‌های تشکیل شده A: مربوط به سال‌های ۱۳۸٦-۱۳۸۳ و B: مربوط به سال‌های ۱۳۸۹-۱۳۸٦ C: مربوط به سال‌های ۱۳۹۱-۱۳۸۹ و D: مربوط به سال‌های ۱۳۹٦-۱۳۹۳

به منظور تهیه نقشه جابجایی سطحی منطقه باید با اعمال فیلتر Goldstein بر روی تداخل‌نگاشت‌ها، خطاهای احتمالی ازجمله خطای اسپکل، را رفع نمود. از آنجا که اطلاعات فاز یک تداخل نگاشت در مقیاس2π است یک مشکل مبهم در محاسبه تعداد صحیح سیکل‌های فاز وجود دارد که این حل ابهام به‌عنوان حل ابهام فاز (Phase Unwrapping) شناخته می‌شود. به فرآیند بازیابی مقادیر فاز نامبهم و صحیح از یک مجموعه دوبعدیِ مقادیر فاز که در بازه $(-\pi, \pi)$ است، بازیابی فاز دوبعدی گفته می‌شود؛ و در نهایت با انجام و اعمال فیلتر و حل ابهام فاز، نقشه‌های جابجایی رخداده در طول دوره‌های مختلف و الگوی توزیع فضایی آن تهیه شد (اشکال ۵ و ٦). از آنجایی‌که جابجایی‌های رخداده در راستای دید ماهواره اتفاق افتاده، می‌توان مقادیر مثبت را به معنی نزدیک شدن سطح زمین به ماهواره و بالاآمدگی و مقادیر منفی به معنی فاصله گرفتن از ماهواره و فرونشست تلقی نمود، در این صورت محدوده‌های قرمز رنگ مناطق فرونشست و محدوده‌های آبی رنگ مناطق بالاآمده سطح زمین را نشان می‌دهد. همان‌طور که در اشکال شماره ۵ و ٦ مشاهده می‌شود میزان فرونشست و بالاآمدگی سطح زمین بین سال‌های ۱۳۸۳ تا ۱۳۸٦ بین ۲۲- تا ۱۸ سانتیمتر فرونشست و بالاآمدگی اتفاق افتاده است. محدوده‌های فرونشستی بیشتر در اطراف محدوده شهر کرمان متمرکز هستند درحالی‌که بالاآمدگی سطحی بیشتر در مناطق مرکزی شهر اتفاق افتاده است. میزان جابجایی بین سال‌های ۱۳۸٦ تا ۱۳۸۹ کمی بیشتر شده است و در حدود ۲۳- تا ۲۰ سانتیمتر رسیده است. بر اساس شکل شماره ٦ میزان جابجایی طی دو سال مابین سال‌های ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۱ بین ۱۸- تا ۱۰ سانتیمتر بوده است، همچنین در طول سال‌های ۱۳۹۳ تا ۱۳۹٦ این تغییرات بین ۳۲- تا ١٤ سانتیمتر رسیده است. آنچه که در دوره‌های مختلف مشاهده می‌شود، روند افزایشی میزان فرونشست و روند کاهشی میزان بالاآمدگی در طول این سال‌ها است، به‌طوری‌که نرخ فرونشست طی دوره ۸۳–۸٦ از ۷/۳ به ۷/٦ سانتیمتر در سال طی دوره ۸٦–۸۹ رسیده است و در همین مدت میزان بالاآمدگی نیز از ٦ به ٦/٦ سانتیمتر در سال افزایش یافته است. همچنین طی سال‌های ۸۹–۹۱ و ۹۳–۹٦ نرخ فرونشست و بالاآمدگی به ترتیب از ۹ به ۱۰/٦ سانتیمتر در سال افزایش و از ۵ به ٤/٦ سانتیمتر در سال کاهش یافته است. همچنین همان‌طور که در اشکال شماره ۵ و ٦ مشخص است، الگوی فضایی جابجایی‌ها نیز طی دوره مطالعه تغییر کرده است، به‌طوری‌که محدوده‌های فرونشست افزایش وسعت نشان داده و تقریباً از اطراف شهر کرمان به درون محدوده‌های شهری منتقل شده است در حالی که وسعت مناطقی که دچار بالاآمدگی شده‌اند، ابتدا یک روند افزایشی داشته ولی از سال ۱۳۸۹ به بعد روند کاهشی در پیش گرفته‌اند.



شکل ۵- نقشه‌های جابجایی A: مربوط به سال‌های ۱۳۸۳-۱۳۸٦ و B: مربوط به سال‌های ۱۳۸٦-۱۳۸۹



شکل ٦- نقشه‌های جابجایی A: مربوط به سال‌های ۱۳۸۹-۱۳۹۱ و B: مربوط به سال‌های ۱۳۹۳-۱۳۹٦

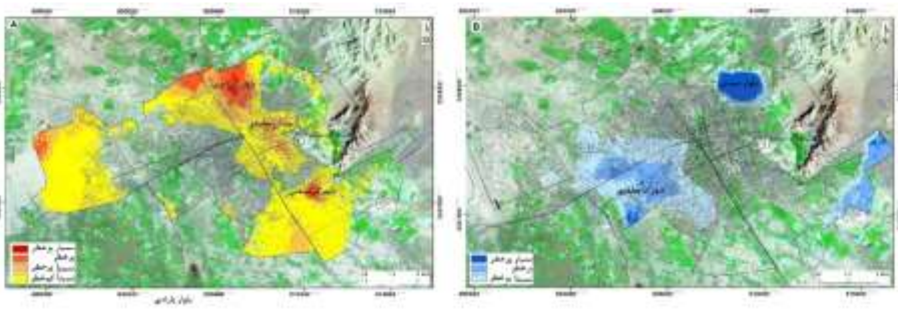
شکل شماره ۷، محدوده‌های پرخطر در سطح شهر کرمان را نمایش می‌دهد. استخراج عرصه متعلق به این پهنه‌ها نشان می‌دهد که قریب ۷۰۰ هکتار از محدوده شهرکرمان در پهنه‌های پرخطر و بسیار پرخطر به لحاظ خطر فرونشست و قریب به ۱۷۰۰ هکتار از محدوده شهر در پهنه‌های پرخطر و بسیار پرخطر به لحاظ خطر بالاآمدگی سطح زمین، واقع شده است (جداول ۲ و ۳).

جدول ۲- مساحت و درصد عرصه‌های شهری واقع در پهنه خطر فرونشست

عرصه خطر	مساحت (هکتار)	درصد
بسیار پرخطر	٦۲	۰/۳۸
پرخطر	٦۱۳	۳/۸۱
نسبتاً پرخطر	۱٤۰٦	۸/۷۵
نسبتاً کم خطر	۵۸۸۰	۳٦/۵۷

جدول ۳- مساحت و درصد عرصه‌های شهری واقع در پهنه خطر بالاآمدگی

عرصه خطر	مساحت (هکتار)	درصد
بسیار پرخطر	۵۲۱	۳/۲٤
پرخطر	۱۲۱۱	۷/۵۳
نسبتاً پرخطر	۲۰۷۸	۱۲/۹۲



شکل ۷- پهنه‌بندی مخاطره فرونشست (A) و بالاآمدگی (B) سطح زمین در مناطق چهارگانه شهرکرمان

بـا روی‌هم‌انـدازی لـایه پهنه‌های پرمخاطره بر روی نقشـــه مناطق چهارگانه شـــهرکرمان، محدوده‌های شـــهری پرمخاطره دقیقاً قابل شـناسـایی می‌شـود، بطوری که طبق شـکل شـماره ۷، سـه محدوده از شهر کرمان شامل محدوده بلوار پارادیس، منطقه حول میدان مشـتاق در بخش مرکزی و بافت تاریخی شـهر و شـهرک صـنعتی در بخش شـرقی شـهر، جزء مناطق پرمخاطره به لحاظ فرونشـست قلمداد می‌شوند، همچنین به لحاظ مخاطره بالاآمدگی سطح زمین نیز ۲ محدوده جزء مناطق پرمخاطره محسـوب می‌شـوند، این مناطق شـامل محدوده بلوار سیدی در بخش شمالی شهر و شـهرک مطهری در بخش جنوبی شـهر می‌شـود. مطالعات میدانی انجام گرفته در تمامی محله‌های ذکر شـده، نشـانگر تأثیر زیاد این مخاطرات بر مناطق مسـکونی می‌باشـد، به‌طوری‌که شـواهد زیادی مانند ایجاد ترک در دیوارهای بعضـی از منازل، نشست سنگفرش‌ها و تخریب تأسیسات شهری قابل مشاهده است (اشکال ۸ و ۹).



شکل ۸- نمونه‌هایی از تاثیرات فرونشست بر سازه‌های شهری



شکل ۹- نمونه‌هایی از تأثیر بالاآمدگی زمین بر ساختمان‌های شهری

نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که روند کلی تغییرات سطح زمین در محدوده شهر و اطراف آن دو روند کاملاً معکوس بوده است. بدین ترتیب که مناطق پیرامونی شهر در حال فرونشست بوده ولی در محدوده‌های شهری سطح زمین دچار بالاآمدگی شده است و این روند با کمی تغییرات هم‌اکنون نیز ادامه دارد با این تفاوت که در چند سال اخیر بخشی از مناطق شهری نیز دچار فرونشست شده‌اند و روند بالاآمدگی سطح زمین نیز بسیار کاهش یافته و تنها به بخش‌های کمی محدود شده است. دلیل تغییرات رخ‌داده در ارتفاع سطح زمین در طول این چند سال را می‌توان این‌گونه تفسیر کرد که افزایش آب شرب مصرفی که ناشی از افزایش جمعیت و توسعه شهر کرمان می‌باشد، همراه با انسداد مجاری زیرزمینی مانند قنوات، تغییر کاربری اراضی کشاورزی، حذف چاه‌های بهره برداری و استفاده از چاه‌های جذبی، در شرایط فقدان شبکه فاضلاب شهری موجب بالا آمدن سطح ایستابی در محدوده شهر شده است، به‌طوری‌که این استدلال با نتایج مطالعات آقاملایی و همکاران (۱۳۹٦)، نیز همخوانی دارد. علاوه بر آن به دلیل نوع خاک شهر کرمان که بیشتر از نوع خاک‌های رسی می‌باشد (امینی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۵)، در نتیجه جذب آب توسط خاک‌های غنی از رس باعث تورم و بالاآمدگی سطح زمین شده است. این مسئله در نوع خرابی ساختمان‌ها نیز مشهود است همانطور که در شکل شماره ۹ مشاهده می‌شود، پی بسیاری از منازل واقع در محدوده‌های بالاآمده دچار خیس‌خوردگی ناشی از بالا بودن سطح آب‌های زیرزمینی شده است. البته با احداث سیستم فضلاب در چند سال اخیر روند بالاآمدگی سطح زمین نیز کاهشی شده و این موضوع در نتایج کاملاً مشهود است؛ و اما حفر چاه و برداشت بی‌رویه آب‌های زیرزمینی در بخش‌های پیرامونی شهرکرمان جهت گسترش باغات پسته، باعث فرونشست در اطراف شهر کرمان شده است؛ و دلیل گسترش این مناطق فرونشستی به محدوده شهر کرمان می‌تواند علاوه بر حفر چاه عمیق در سطح شهر، پایین رفتن سطح آب‌های فاضلابی به دلیل شروع به راه‌اندازی سیستم فاضلاب شهری در سطح شهر و در نتیجه از دست دادن آب توسط خاک‌های رسی و متراکم شدن و در نتیجه نشست زمین، باشد. همچنین مقایسه سطح برخورد به آب زیرزمینی (۱۳٦۵-۱۳۹۵) در دشت کرمان و محدوده شهر کرمان توسط آقاملایی و همکاران (۱۳۹٦) نشانگر معکوس بودن این دو روند است، به گونه‌ای که در برابر افت سالانه سطح آب در دشت، با افزایش سالانه سطح آب در محدوده شهر مواجه بوده‌ایم، که نتیجه آن در تغییرات ارتفاعی سطحی رخداده کاملاً

مشـهود اسـت. مقایسـه نتایج به دست آمده از این تحقیق با مطالعات عباس‌زاده و حسن‌زاده (۱۳۸۵)، نشان می‌دهد که مناطق فرونشسـتی روند تغییرات مشـابهی را طی نموده اسـت، علاوه بر آن ایشـان، میزان بالاآمدگی زیاد سـطح زمین اندازه‌گیری شـده توسـط دسـتگاه‌های نقشـه‌برداری را ناشی از خطای احتمالی این تجهیزات دانسته است در حالی که نتایج این تحقیق، آن را واقعی دانسـته و تأیید می‌کند. مقایسه نتایج مطالعات مشابه (Liu et al. 2017, Castellazzia et al. 2016) با نتایج حاصـل از این پژوهش نشانگر یکسان بودن دلایل، زمینه‌ها و عوامل رخداد و وقوع اینگونه تغییرات در سطح زمین، که همانا تغییرات سطح آبهای زیرزمینی بوده، است.

٤- جمع بندی

امروزه تصـــاویر راداری در بســـیـاری از مطـالعـات جغرافیـایی کـاربرد دارد. یکی از موارد کـاربرد آن در تعیین جابجایی‌های ارتفاعی سـطح زمین اسـت، امری که در این تحقیق از آن استفاده شده است. نتایج بدست آمده از روش تداخل‌سـنجی راداری نشـان می‌دهد که مناطق مختلف شـهرکرمان در طول ۱۵ سـال اخیر به لحاظ فرونشسـت و بالاآمدگی رفتارهای متفاوتی داشـته به‌طوری‌که در طول سـال‌های ۱۳۸۳–۱۳۸٦ با توجه به تمرکز اراضـی کشاورزی و به تبع آن افت نسـبی سـطح آب‌های زیرزمینی در اطراف و خارج از محدوده شهر، مناطق فرونشستی بیشتر در اطراف شـهرکرمان متمرکز بوده و نرخ فرونشسـت نسـبتاً پایین بوده اسـت. همچنین در این دوره به دلیل بالاآمدگی سـطح آب‌های زیرزمینی در محدوده شـهر، بخش وسـیعی از مناطق مرکزی شـهر دچار پدیده بالاآمدگی سـطح زمین شـده اسـت. بین سـال‌های ۱۳۸٦–۱۳۸۹ موقعیت مناطق فرونشـست در اطراف شهر کمی تغییر کرده و محدوده‌هایی از شهر نیز درگیر پدیده فرونشـسـت شـده اسـت. در طول سال‌های بعد مناطق بیشتری از سطح شهر دچار فرونشست شده و تاکنون نیز ادامه دارد. پایش بالاآمدگی سـطح زمین طی این ۱۵ سـال کمی متفاوت بوده است به‌طوری‌که طی سال‌های ۱۳۹۳ تا ۱۳۹٦ روند گسـترش مناطق بالاآمده کاهشـی شـده که این می‌تواند ناشـی از پایین رفتن سـطح آب به‌دلیل راه‌اندازی و احداث سـیسـتم فاظلاب شـهری و در نتیجه پایین آمدن رطوبت خاک‌های رسـی و نشست زمین باشد. با توجه به وجود شـواهد تخریبی در سـازه‌های موجود در محدوده‌های بالاآمده شـهر می‌توان چنین برداشـت کرد که بالاآمدگی سـطح زمین نیز به مانند فرونشـسـت می‌تواند مخاطره آمیز باشد. با توجه به پهنه‌بندی خطر فرونشست شهر کرمان، سـه منطقه شـامل محدوده بلوار پارادیس، منطقه حول میدان مشـتاق در بخش مرکزی و بافت تاریخی شـهر و شـهرک صـنعتی در بخش شـرقی شهر در کلاس با خطر بسیار زیاد قرار دارند که باید ساخت وسازها در این مناطق با تمهیدات و حساسیت بیشتری انجام گیرد.

کتابنامه

امینی زاده بزنجانی، محمدرضا ؛ آقاملایی، ایمان؛ لشکری پور، غلامرضا؛ غفوری، محمد؛ بهرامی، محمد؛ ۱۳۹۵. بررسی تأثیر محیط رسوبی بر خواص مهندس خاک‌های شهر کرمان با توجه به رفتار مقاومتی آن‌ها. *نشریه زمین شناسی مهندسی*. جلد دهم. شمارهٔ ۱. صص. ۳۲۴۵-۳۲۷۰.

آقاملایی، ایمان؛ لشکری پور، غلامرضا؛ غفوری، محمد؛ حافظی مقدس، ناصر؛ ۱۳۹٦. بررسی اثرات بالا امدگی و پیش بینی نوسانات سطح آب زیرزمینی ناشی از توسعه شبکه جمع آوری فاضلاب در شهر کرمان. *فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب*. سال هشتم. شماره سی‌ام. صص. ۱٤۰-۱۵۷.

تورانی، مرجان؛ آقاتابای، مریم؛ روستایی، مه‌آسا؛ ۱۳۹۷. مطالعهٔ فرونشست در غرب استان گلستان با استفاده از روش تداخل سنجی راداری. *مجله آمایش جغرافیایی فضا*. سال هشتم. شماره بیست و هفتم. صص. ۱۱۷-۱۲۸.

جنت، کبری؛ قاضی فرد، اکبر؛ ۱۳۸۸. بررسی ویژگی‌ها و علل فرونشست در دشت گلپایگان با استفاده از تداخل‌سنجی رادار و GIS. نخستین کنفرانس آب‌های زیرزمینی. صص. ۱-۹

حاجب، زهرا؛ موسوی، زهرا؛ معصومی، زهره؛ رضایی، ابوالفضل؛ ۱۳۹۷. بررسی فرونشست دشت قم با استفاده ازتداخل سنجی راداری. *مجموعه مقالات هجدهمین کنفرانس ژئوفیزیک ایران*. صص. ۳۵۲-۳۵۵.

حشمی، شیما؛ المدرسی، سید علی؛ ۱۳۹٤. مدل‌سازی فرونشست دشت نیشابور با استفاده از سری‌های زمانی و تکنیک DINSAR. *جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی* ۵۷(۱). صص.٦۷-۸٤.

شریفی کیا، محمد؛ مال امیری، نعمت؛ شایان، سیاوش؛ ۱۳۹۲. سنجش میزان آسیب‌پذیری بافت‌های شهری در برابر مخاطره فرونشست زمین مطالعه موردی (بخشی از جنوب شهر تهران). *جغرافیا و مخاطرات محیطی*. شماره پنجم. صص. ۹۱-۱۰٦.

شریفی کیا، محمد؛ ۱۳۹۱. تعیین میزان و دامنه فرونشست زمین به کمک روش تداخل سنجی راداری در دشت نوق- بهرمان. *مجله مدرس علوم انسانی- برنامه ریزی و آمایش فضا*. ۱٦(۳). صص. ۳٤-٤۲.

صالحی، رضا؛ غفوری، محمد؛ لشکری پور، غلام رضا؛ دهقانی، محمد؛ ۱۳۹۲. بررسی فرونشست دشت مهیار جنوبی با استفاده از روش تداخل سنجی راداری. *فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب*. سال سوم. شماره ۱۱. صص. ٤۷ -۵۷.

عباس نژاد، احمد؛ ۱۳۸۳. حفره فروکش کارستی در اختیارآباد شمال باختری کرمان. *نشریه علوم زمین*. سال یازدهم. شماره ۵۱. صص. ۲۸-۳۵.

عباس نژاد، احمد؛ حسن زاده، رضا؛ ۱۳۸۵. ارزیابی خطر نشست و تورم زمین در شهر کرمان با استفاده از GIS. بیست و پنجمین گردهمایی علوم زمین. صص. ۱-۷.

کریمی، مرتضی؛ قنبری، علی اصغر؛ امیری، شهرام؛ ۱۳۹۲. سنجش خطرپذیری سکونتگاه‌های شهری از پدیده فرونشست زمین مطالعه موردی: منطقه ۱۸ شهر تهران. *مجله علمی-پژوهشی برنامه‌ریزی فضایی (جغرافیا)*. سال سوم. شماره اول. صص. ۳۷-۵٦.

مهرابی، علی؛ پورخسروانی، محسن؛ ۱۳۹۷. اندازه گیری میزان جابجایی سطح زمین ناشی از زلزله ۱۳۸۳ داهوئیه (زرند) استان کرمان و شناسایی گسل عامل آن با استفاده از تکنیک تداخل‌سنجی راداری. *مجله پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی*. دوره ۷. شماره ۱. صص. ۶۱-۷۳.

میرشاهی، فاطمه‌السادات؛ ولدان‌زوج، محمدجواد؛ دهقانی، مریم؛ هاشمی امین‌آبادی، سیدمحمد؛ ۱۳۹۲. اندازه گیری فرونشست سطح زمین به کمک تکنیک تداخل‌سنجی راداری با استفاده از تصاویر TerraSAR- . بیستمین همایش ملی ژئوماتیک.

یاراحمدی، جمشید؛ ۱۳۹۵. بررسی پدیده فرونشست زمین در دشت‌های بحرانی استان آذربایجان شرقی به روش اینترفرومتری راداری. اولین همایش بین المللی مخاطرات طبیعی و بحران‌های زیست محیطی ایران، راهکارها و چالش‌ها. تبریز.

Boni, R., Herrera, G., Meisina C., Notti, D., Bejar-Pizarro, M., Zucca, F., Gonzalez, PJ., Palano, M., Tomas, R., Fernandez, J., Fernandez- Merodo, JA., Mulas, J., Aragon, R., Guardiola-Albert, C., Mora, O., 2015. Twenty-year advanced DInSAR analysis of severe land subsidence: the Alto Guadalentı´n Basin (Spain) case study. *Eng Geo*, 198:40–5

Burgmann, R., Rosen, P., Fielding E., 2000. Synthetic Aperture Radar interferometry to measure Earth's surface topography and its deformation. *Annu. Rev. Earth. Planet. Sci*., 28, 169– 209.

Castellazzia, P., Domínguezb, N., Martela, R., Calderheada, A., Normandc, J., Gárfiasb, L., Riverada, A., 2016. Land subsidence in major cities of Central Mexico: InterpretingInSAR-derived land subsidence mapping with hydrogeological data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 47: 102–111.

Chang, C. P., Chang, T. Y., Wang, C. T., Kue, C. H. & Chen, K. S., 2004. Land surface deformation corresponding to seasonal ground-water fluctuation, determining by SAR interferometry in the SW Taiwan. *Math. Comput. Sim*., 67: 351-359.

Ferretti, A., Savio, G. Barzaghi, R., Borghi, A., Musazzi, S., Novali, F., Prati, C., Rocca, F., 2007. Submillimeter Accuracy of InSAR Time Series: Experimental Validation. *Geoscience and Remote Sensing. IEEE Transactions*, 45, 1142-1153.

Ferretti, D., Colombo, A., Fumagalli, F., Novali, F., Rucci A., 2015. InSAR data for monitoring land subsidence: time to think. big-proc-iahs.net.

Ghazifard, A., Akbari, E., Shirani, K., Safaei, H., 2017. Evaluating land subsidence by field survey and D-InSAR technique in Damaneh City, *Iran. J Arid Land*, 9(5): 778–789.

Ghazifard, A., Moslehi, A., Safaei, H., Roostaei, M., 2016. Effects of groundwater withdrawal on land subsidence in Kashan Plain, Iran. *Bull Eng Geol Environ*, 75:1157–1168.

Hooper, M., Bekaert, D., Spaans, K., Arikan, M., 2012. Recent advances in SAR interferometry time series analysis for measuring crustal deformation. *Tectonophysics*, pp: 514- 517.

Jafari, F., Javadi, S., Golmohammadi, G., Karimi, N., Mohammadi, K., 2016. Numerical simulation of groundwater flow and aquifer-system compaction using simulation and InSAR technique: Saveh basin, Iran. *Environ Earth Sci*., 75:833.

Lanari, R., Lundgren, P., Manzo, M. & Casu, F., 2004. Satellite radar interferometry time series analysis of surface deformation for Los Angeles, California. *Geophysical Research Letters*, 31.

Liu, X., Wang, Y., Yan, S., 2014. Monitoring vertical ground deformation in the North China Plain using the multitrack PSInSAR technique. *Chin J Geophys- Chin Edit*, 57:3129–3139

Liu, X., Wang, Y., Yan, S., 2017. Ground deformation associated with exploitation of deep groundwater in Cangzhou City measured by multi-sensor synthetic aperture radar images. *Environ Earth Sci*., 76:6.

Lubis, AM., Sato, T., Tomiyama, N., Isezaki, N., Yamanokuchi, T., 2011. Ground subsidence in Semarang-Indonesia investigated by ALOS–PALSAR satellite SAR interferometry. *J Asian Earth Sci*., 40:1079–1088.

Motagh, M., Y. Djamour, T.R. Walter, H.U. Wetzel, J. Zschau and S. Arabi., 2007. Land subsidence in Mashhad Valley, northeast Iran, results from InSAR, leveling and GPS. *Geophysical Journal International*, 168: 518-526.

Raspini, F., 2013. Advanced interpretation of land subsidence by validati multi-interferometric SAR data: the case study of the Anthemountas basin (Northern Greece. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, (23): 24-45.

Sharifikia, M., 2012. Determination of the rate and extent of earth subsidence using the radar interferometry method in Noogk-Bahreman plain. *Quarterly Journal of Humanities (Space Planning)*, 16(3): 34 -42.

Zhao, F., 2016. Study on the Method of Multi-platform SAR Data Sets Based Ground Deformation Monitoring (Chinese) Dissertation. *China University of Mining and Technology*, (23)12: 123-134.